

Усовершенствованный мощный тиристорный выключатель переменного тока с гальванической развязкой

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье описан выключатель переменного тока мощностью до 3,5 кВт, построенный на базе двух тириستоров T142-80 и электроконтактного термометра. Устройство предназначено для совместной работы с электрообогревателем для поддержания заданной постоянной температуры в помещении. Отличительными особенностями устройства являются гальваническая изоляция контактного термометра от сетевого напряжения и существенно сниженные сетевые и эфирные помехи.

Введение

Предлагаемое устройство предназначено для поддержания заданной постоянной температуры в помещении при его обогреве электроприборами (тепловентилятор, тепловая пушка, электрокамин и т.п.) мощностью до 3,5 кВт. Данный выключатель может также использоваться в инкубаторах, поскольку имеет достаточно высокую точность поддержания нужной температуры. Подобное устройство, описанное автором в статье [1], эксплуатировалось более 5 лет, в течение которых было выявлено несколько его слабых мест. В устройстве, описанном в настоящей статье, эти недостатки устранены, и модернизированная версия успешно прошла испытания в реальных критических условиях. Изменению подверглись не столько номиналы использованных электронных компонентов, сколько их тип. Кроме того, существенно изменена конструкция самого устройства.

Принципиальная схема устройства

Схему устройства (см. рис. 1) условно можно разбить на два блока: силовая часть (правый пунктирный прямоугольник) и плата управления (левый пунктирный прямоугольник).

В плате управления использован бестрансформаторный источник питания (ИП), состоящий из двух резисторов R1 и R2, двух гасящих конденсаторов C1 и C2, выпрямителя M1 (MB6S) и сглаживающего конденсатора C3. Такой ИП больше походит на источник тока, чем на источник напряжения, поскольку его входной импеданс достаточно высок, т.к. определяется ёмкостным сопротивлением C1 и C2, к которому добавляется сопротивление резисторов R1 и R2. Подтверждением сказанному служит тот факт, что ток через резистор R3, составляющий около 8 мА, практически не изменяется при замыкании контактов клеммника KL2, к которому подключён электроконтактный термометр (КТ). В отличие

от стандартного бестрансформаторного ИП (с одним гасящим конденсатором и резистором), такой ИП обладает ещё одним свойством: он полностью гальванически изолирован от сетевого напряжения двумя конденсаторами C1 и C2. Здесь следует отметить, что подобная гальваническая (ёмкостная) изоляция широко используется в высокоскоростных цифровых изоляторах (например, в ISO7220 производства Texas Instruments). Ещё одной особенностью подобного ИП является величина тока – 8 мА. Это значение находится в пределах диапазона токов так называемого токового интерфейса промышленного стандарта 4–20 мА. Такой интерфейс обладает одним интересным свойством – независимостью тока от сопротивления проводов (в данном случае – от длины проводов, к которым подключается контактный термометр). Это позволяет удалить КТ на значительное расстояние (до 100 м и более), что в некоторых случаях может быть очень полезным. Сопротивление R3 подобрано таким образом, чтобы напряжение на входе оптосимистора DA1 (т.е. на его инфракрасном светодиоде – 1-й и 2-й выводы) было около 2 В при токе 8 мА. Поскольку пороговый ток светодиода, при котором открывается оптосимистор DA1 (MOC3063), составляет 5 мА, тока 8 мА достаточно для надёжного открытия оптосимистора. При замыкании контактов КТ последний шунти-

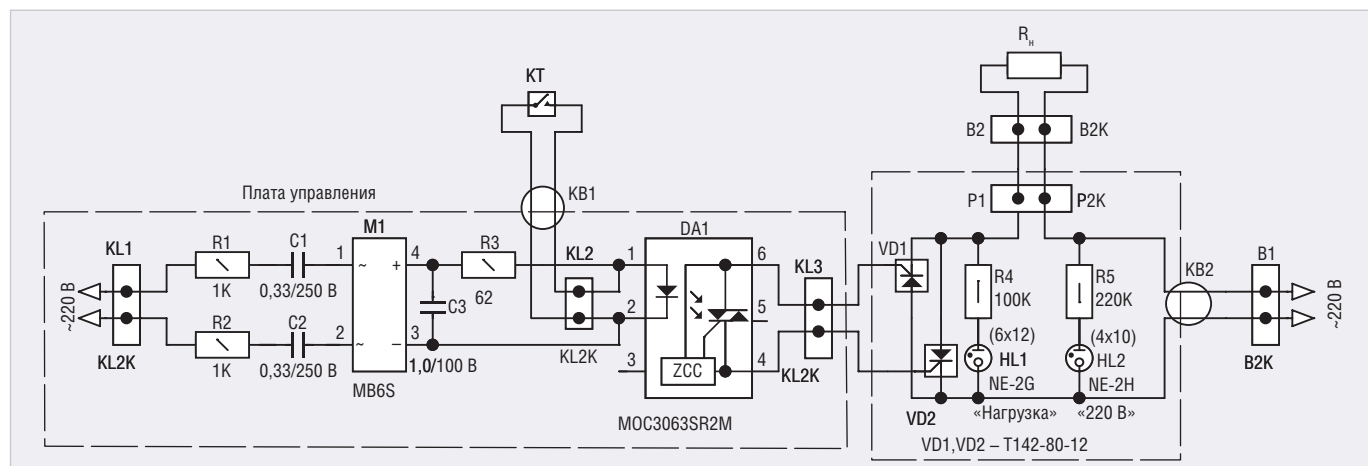


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

рует светодиод оптосимистора, отчего он надёжно запирается. Сетевое напряжение ~220 В подаётся на плату с двухконтактного клеммника KL1. Выходной сигнал оптосимистора (4-й и 6-й выводы DA1) поступает на двухконтактный клеммник KL3. Провод, подключаемый к КТ, пропущен через кабельный ввод (KB1), расположенный на задней части корпуса устройства (см. далее).

Силовая часть устройства состоит из двух тиристоров VD1, VD2 (Т142-80-12), включённых встречно-параллельно. Ток утечки управляющего электрода (УЭ) одного тиристора составляет около 100 мА, что достаточно для включения другого (с помощью его УЭ). Поэтому при включении оптосимистора DA1 тиристоры включаются, а при выключении – выключаются. При этом никаких дополнительных электронных компонентов, кроме оптосимистора, не требуется. Включение и выключение тиристоров VD1 и VD2 происходит в момент перехода сетевого напряжения через ноль благодаря специальной схеме (Zero Crossing Characteristics – ZCC) оптосимистора DA1. Это существенно снижает высокочастотные помехи, генерируемые тиристорами (как в сеть, так и в эфир) при подключённой нагрузке в моменты включения и выключения. Нагрузка, например печка, подключается к двухконтактной розетке P1 с помощью вилки B2, которые рассчитаны на ток 16 А. Устройство подключается к сетевому напряжению с помощью кабеля, на одном конце которого расположена такая же вилка, а второй конец пропущен через кабельный ввод KB2, расположенный на задней стенке корпуса устройства (см. далее). Для индикации наличия сетевого напряжения в устройстве используется неоновая лампа HL2 (NE-2H) оранжевого цвета свечения со своим токоограничительным резистором R5, а для индикации включённой нагрузки – неоновая лампа HL1 (NE-2G) зелёного цвета свечения с ограничительным резистором R5.

Устройство электроконтактного термометра, определяющего суть работы схемы, достаточно простое. Он имеет два электрода, к которым подключается кабель. Один из электродов соединяется с проводом, расположенным в стеклянной колбе термометра и впаянным в капилляр, по которому поднимается ртуть, и непосредственно контактирующим с ней. Место контакта расположено ниже минимальной отметки шкалы температуры. Второй электрод соединяется с проводом, контактирую-

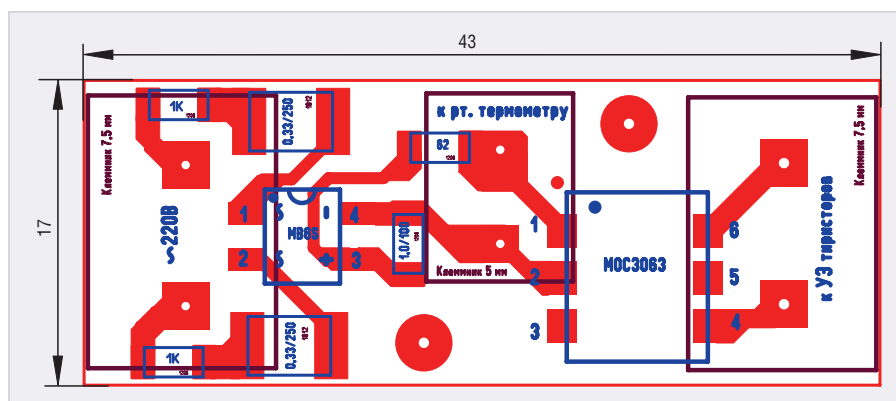


Рис. 2. Разводка платы управления

щим с тонким вольфрамовым волоском, расположенным сверху в том же капилляре. Положение нижней части волоска может регулироваться по высоте ручкой с закреплённым на ней магнитом, вращающим стержень с резьбой, по которому перемещается гайка с прикреплённым волоском. Это требуется для того, чтобы исключить непосредственный контакт ручки и стержня, поскольку последний также укреплён в основной герметично запаянной колбе контактного термометра, заполненной водородом под давлением. Регулируя положение волоска по высоте, можно выставить нужную температуру включения/выключения нагрузки. При повышении температуры ртуть поднимается, и при контакте с волоском цепь замыкается, в противном случае – размыкается. Максимальный ток через КТ составляет 30–50 мА, что заведомо выше, чем ток 8 мА, при котором включается оптосимистор. При замыкании контактов КТ его низкое сопротивление шунтирует светодиод оптрона, т.к. весь ток проходит через КТ, отчего светодиод гаснет и оптосимистор выключается. В противном случае он включается. Как видно из схемы (см. рис. 1), бестрансформаторный источник питания постоянно находится под нагрузкой (это либо R3 при замкнутых контактах КТ, либо R3 и сопротивление светодиода оптрона при разомкнутых контактах КТ), что является одним из строгих условий работы такого ИП, поскольку при работе без нагрузки напряжение на конденсаторе C3 возрастёт почти до выпрямленного сетевого напряжения, т.е. до 310 В, и C3 мгновенно выйдет из строя.

Номиналы резисторов и конденсаторов в плате управления те же, что и в [1], однако вместо навесных компонентов использованы компоненты для поверхностного монтажа. Максимальное напряжение, на которое рассчитан конденсатор C3, увеличено до 100 В. В отличие от

макетной платы и навесного монтажа, применённых в [1], новая версия выключателя выполнена на печатной плате.

Разводка платы и конструкция устройства

Из разводки печатной платы, сделанной с помощью программы Sprint Layout 6.0 (см. рис. 2), видно, что все элементы, кроме клеммников, расположены с одной стороны. Файл разводки в формате *.laub приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала www.soel.ru. Методика изготовления подобных плат подробно описана в [2]. Размер платы управления составляет 43×17 мм.

После того как плата (см. рис. 3а) изготовлена и промыта в ацетоне или изопропиловом спирте, она со стороны дорожек покрывается тремя слоями нитролака (мебельный или цапонлак). Дело в том, что при температуре от –2°С до +5°С иногда наблюдались сбои в работе, что объясняется конденсацией влаги. Как показала эксплуатация в течение года, усовершенствованная конструкция устойчиво работает при температуре от –30°С до +18°С и выше. На плате установлены двухконтактные клеммники с расстояниями между контактами 7,5 (XY128VB-2P-7.5) и 5 мм (KLS2-128I-5.00-02P).

Устройство размещено в металлическом корпусе размером 170×130×80 мм (см. рис. 3б). В качестве радиаторов для тиристоров использованы недорогие промышленные охладители О-121 размером 60×40×36 мм, имеющие три отверстия с резьбой М6. Центральное отверстие было рассверлено до диаметра 8,5 мм, и в нём была нарезана резьба М10 под винт (анод) тиристора. Перед тем как тиристор был вкручен в радиатор, на его винт были надеты О-образная клемма с припаянным к ней проводом и стопорная шайба. Каждый из радиаторов прикручен к текстолитовой пластине толщиной 4 мм

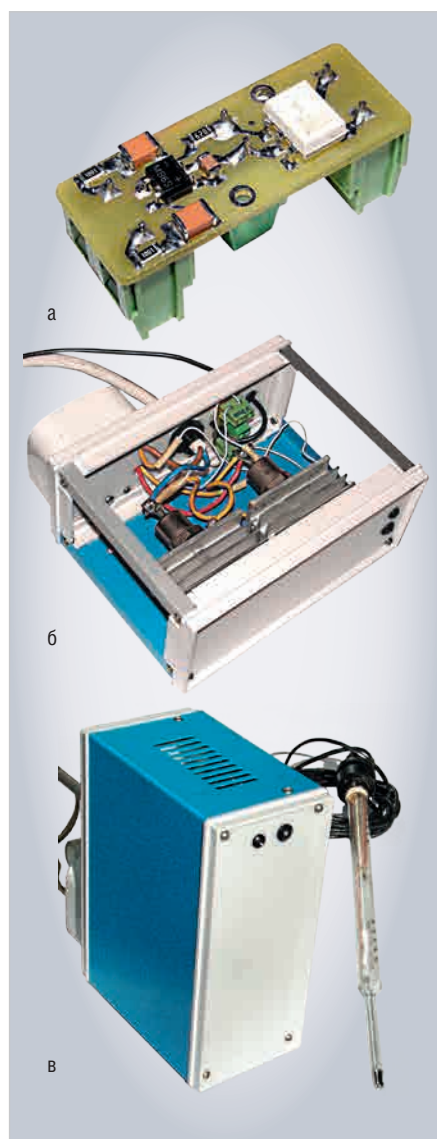


Рис. 3. Внешний вид устройства и его элементов: а) плата управления (вид со стороны дорожек); б) устройство в корпусе со снятой крышкой; в) общий вид устройства в сборе

двумя винтами М4 с потайной головкой. Для снижения теплового контакта между пластиной и радиаторами между ними (на винты) установлены паронитовые теплоизолирующие шайбы. Расстояние между радиаторами – 10 мм. Сама пластина прикручена шестью винтами М2,5 с потайной головкой к внутренней части пластмассовой рамки корпуса. К внешней части рамки прикручена лицевая пластина, на которой укреплены неоновые лампы в специальных оправках. На задней части корпуса на пластмассовой пластине расположены силовая розетка (с внешней стороны), два кабельных ввода (для силового провода и для провода к КТ), а также плата управления, которая прикручена двумя винтами М2 к пластине с внутренней стороны через пластмассовые стойки. Сама пластина прикручена к внешней части пластмассовой рамки корпуса.

Для силовых цепей использован провод сечением 4 мм^2 , для слаботочных – провод МС 16-11 0,1 сечением $0,1 \text{ мм}^2$, имеющий фторопластовую изоляцию с внешним диаметром 1,1 мм. Можно использовать провод МГТФ-0,1, на который желательно надеть ещё одну изолирующую трубку из ПВХ. В качестве силового использован сетевой провод ПВС 2×4 сечением каждой жилы 4 мм^2 , а в качестве провода для КТ – сетевой провод ШВП-М 2×0,20 сечением каждой жилы $0,2 \text{ мм}^2$ (или ШВП-М 2×0,35).

Здесь следует отметить один существенный момент, значительно повышающий надёжность работы устройства. В прежней конструкции [1] для фиксации (в том числе) кабелей и для распределения сигналов внутри устройства использовался 7-контактный двусторонний клеммник, к которому были припаяны провода кабелей и от которого отходили необходимые провода на элементы устройства. В настоящей конструкции этот клеммник исключён, а кабели жёстко зафиксированы кабельными вводами. Один конец силового провода кабеля непосредственно вставлен в достаточно широкое отверстие электрода катода одного из тиристоров (синий на рисунке 3б), куда вставлен и провод от анода второго тиристора. Эти провода припаяны к катоду первого тиристора. Второй конец провода силового кабеля непосредственно прикручен к одному из контактов силовой розетки (коричневый на рисунке 3б). Такая конструкция существенно упростила разводку проводов внутри устройства и повысила надёжность его работы.

На верхней и нижней поверхностях крышки корпуса имеются вентиляционные отверстия (см. рис. 3в). К нижней части корпуса прикручены четыре ножки высотой около 10 мм. Это требуется для доступа воздуха к нижним вентиляционным отверстиям.

Вместо тиристора Т-142-80 можно использовать современный тиристор 70TPS12 (максимальный ток 70 А) в корпусе ТО-247 (Super-247). Однако, во-первых, его тепловое сопротивление составляет $0,27^\circ\text{C}/\text{Вт}$ против $0,2^\circ\text{C}/\text{Вт}$ у Т-142-80, т.е. при выделении тепла мощностью в 1 Вт 70TPS12 нагреется на $0,27^\circ\text{C}$, в то время как Т-142-80 нагреется только на $0,2^\circ\text{C}$, в связи с чем для 70TPS12 понадобится радиатор большей площади. Во-вторых, выводы корпуса ТО-247 значительно тоньше достаточно габаритных и жёстких электродов Т-142-80, и при соединении с проводом сечением 4 мм^2 могут сломаться. В настоящее время стоимость ново-

го тиристора Т-142-80 составляет 750–1000 руб., при этом данные тиристоры производятся нашей промышленностью уже более 30 лет и приборы, изготовленные в 80–90-х годах, значительно дешевле и ничем не хуже современных.

Несколько слов об электроконтактных термометрах. Они обладают тремя существенными преимуществами перед современными электронными датчиками температуры. Во-первых, они обеспечивают значительно большую точность и стабильность показаний благодаря простоте физического принципа измерения температуры. Во-вторых, электроконтактным термометрам не требуется питания, что определяет простоту схем, в которых они используются. В-третьих, они позволяют достаточно просто выставлять необходимую температуру и определять её визуально, в результате чего отпадает потребность в дисплеях и микроконтроллерах. Недостатком термометров данного типа является только их достаточно габаритный и хрупкий стеклянный корпус. Их следует размещать в помещении в безопасном месте или закрывать защитным корпусом. Стоимость современных КТ составляет 1000–1500 руб., однако эти устройства также производятся уже в течение очень длительного времени (с середины прошлого века) и сейчас их можно приобрести «с хранения» за цену, на порядок меньшую.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённый в статье бесконтактный принцип коммутации относительно большой мощности с помощью тиристоров может составить существенную конкуренцию другим решениям (например, с использованием реле или с помощью биметаллических пластин) как по надёжности и генерации в сеть и эфир электрических помех в моменты включения/выключения, так и по стоимости. Применённый в устройстве ИП позволяет подключать к устройству контактный термометр на значительном удалении (до 100 м) и, кроме того, значительно повышает безопасность работы всего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьминов А. Мощный тиристорный выключатель переменного тока с гальванической развязкой. Современная электроника. 2014. № 1. С. 46–51.
2. Кузьминов А. Технология изготовления печатных плат с высоким разрешением в любительских условиях. Радио. 2017. № 10. С. 24–28.



НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ



- + Выходная мощность от 1,7 до 5 кВт
- + Выходное напряжение от 10 до 600 В
- + Выходной ток от 8,5 до 500 А
- + КПД до 92% на полной нагрузке
- + Управление: LAN, USB, RS-232/485
- + Вес менее 7,5 кг, высота модуля 1U для 19" стойки

- + GSP 10 кВт, GSP 15 кВт – готовые модули с завода-изготовителя, состоящие из ведущего модуля и одного или двух ведомых
- + Полный заводской контроль качества и тестирование
- + Привлекательная цена

